

Fahrdynamik - Fahrsicherheit - Fahrerplatz

Maximilian Sieting, Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer
Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen, Technische Universität Berlin

Kurzfassung

Die Bestrebung das Fahrverhalten bzw. die Fahrdynamik von Traktoren weiter zu verbessern – insbesondere um die Traktion zwischen Rad und Untergrund bei der Feldarbeit zu optimieren – stellt einen wichtigen Bestandteil der aktuellen Forschung dar. Das gilt in besonderer Weise auch im Hinblick auf die Reduzierung des Energieverbrauchs und des Schadstoffausstoßes. Daneben werden auch der Fahrkomfort und die Fahrsicherheit von Nutzfahrzeugen in aktuellen Untersuchungen thematisiert. Wichtige Punkte hierbei sind die Weiterentwicklung der z.T. noch unbefriedigenden Bewertungsmöglichkeiten von Ganzkörpervibrationen und der damit verbundenen Gesundheitsrisiken sowie der Möglichkeiten zur Erhöhung der Fahrzeugstabilität bzw. der Vermeidung von Instabilitäten während der Fahrt.

Schlüsselwörter

Fahrsicherheit, Fahrwerk, Sicherheitssystem, Traktor, Fahrersitz, Fahrzeugkabine

Ride Dynamics Ride Safety - Driver's Place

Maximilian Sieting, Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer
Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen, Technische Universität Berlin

Abstract

The goal of improving the handling and the driving dynamics of tractors – especially to increase traction between the wheel and the underground during field work – is an important part of current research (mainly with regard to reducing energy consumption and exhaust emissions). Driving comfort and safety of commercial vehicles are also in the focus of current research activities. Important issues are the further development of partly unsatisfying valuation methods of whole body vibrations and the involved health risks as well as the possibilities to increase vehicle stability while driving.

Keywords

ride safety, suspension, safety system, farm tractor, driver's seat, vehicle cab

Fahrsicherheit - Fahrkomfort

Fahrerinnen und Fahrer landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge sind einer vergleichsweise hohen körperlichen Belastung durch Ganzkörpervibrationen unterworfen. Diese zu reduzieren, ist eines der Ziele für die Entwicklung schwingungsreduzierender bzw. -isolierender Fahrwerks-, Kabinen- und Fahrersitzfederungen. Die Effektivität der jeweiligen Systeme bezüglich einer Reduzierung von Ganzkörpervibrationen kann z.B. anhand von Beschleunigungsmessungen am Fahrersitz, wie sie in der ISO 5008 [1] festgelegt sind, quantifiziert werden. Die verschiedenen, für die Auswertung zur Verfügung stehenden Berechnungsansätze erschweren allerdings eine einheitliche Bewertung des Schädigungsrisikos, was Rantaharju et al. in ihrer Studie [2] untersuchen. In dieser werden verschiedene Berechnungsansätze zur Bewertung der Ganzkörpervibration von Fahrern unterschiedlicher Fahrzeugtypen gegenübergestellt (ISO 2631-1 (1997) [3], BS 6841 (1987) [4], ISO 2631-5 (2004) [5], 'G-method' [6], DIN SPEC 45697 (2012) [7]). Ziel der Untersuchung war es, die Unterschiede bzw. Besonderheiten der jeweiligen Bewertungsmethoden sowohl im Hinblick auf die betrachteten Fahrzeugtypen als auch unter kontrollierter Einbeziehung kurzzeitig auftretender Beschleunigungsspitzen herauszuarbeiten. Die ausgewerteten Daten wurden an 13 verschiedenen Fahrzeugtypen mit Hilfe eines Sitz-Beschleunigungsaufnehmers gemessen und anhand von Videoaufzeichnungen analysiert, um geeignete Ausschnitte der Messdaten für die Schwingungsbewertung zu extrahieren. Es konnte festgehalten werden, dass eine valide Aussage über die tatsächlichen Gesundheitsschädigungen durch Ganzkörpervibrationen allein auf Grundlage der jeweiligen Bewertungsmethoden schwierig ist und dass weiterführende Betrachtungen von biomechanischen und medizinischen Zusammenhängen für eine geeignete Modellbildung und damit der Verbesserung von Bewertungsmethoden erforderlich ist.

Die Kondition, die Haltung sowie die Bewegungsabläufe der fahrzeugführenden Personen während der Fahrt haben einen signifikanten Einfluss auf die Übertragung der Fahrzeugschwingung auf den Körper, wie u.a. Raffler et al. in [8] beschreiben. Im Rahmen dieser Studie wurden die subjektiv wahrgenommenen Ganzkörpervibrationen von Berufskraftfahrerinnen bzw. -fahrern, Lokomotiv- und Kranführerinnen und -führern erhoben und der Einfluss der spezifischen Körperbewegungen zur Bedienung der Fahrzeuge auf die Wahrnehmung dieser Vibrationen untersucht. Die Körperhaltung sowie die Bewegungsabläufe wurden durch ein Messsystem ermittelt, dass an der fahrzeugführenden Person angebracht wurde (**Bild 1**). Zur Quantifizierung der auf die Person übertragenen Anregungen wurden die Beschleunigungen am Sitz gemessen. Während die gewichtete mittlere Beschleunigung der jeweiligen Fahrzeuge vergleichbar war, ergab die statistische Auswertung der Fragebögen, dass die Schwingungsbelastung von den fahrzeugführenden Personen aller Fahrzeuggruppen höher eingeschätzt wurde als es die Klassifikation der gemessenen Beschleunigungswerte ergab. Auch wurden die unterschiedlichen Körperbewegungen der Personen einzelner Fahrzeugtypen hervorgehoben und die Vermutung geäußert, dass ausfallende Körperbewegungen die wahrgenommenen Ganzkörpervibrationen erhöhen. Wesentlich scheint zu sein, dass der, nach den angeführten Normen, ermittelte Beschleunigungswert keine ausreichende Bewertung der wahrgenommenen und möglicherweise auch der tatsächlich auftretenden Körper-

vibrationen erlaubt, was für die Notwendigkeit weiterführender Untersuchungen der Thematik spricht.



Bild 1: CUELA Messsystem zur Erfassung von Körperbewegungen (CUELA: Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems [8])

Figure 1: Equipment to measure body movement (CUELA: computer-based acquisition and long-term analysis of the musculoskeletal system [8])

Auch wenn eine zufriedenstellende Beurteilung der tatsächlichen Fahrerbelastung auf Grundlage der etablierten Methoden scheinbar schwierig ist, ist die Reduzierung der Schwingungsbelastung durch die Nutzung schwingungsdämpfender bzw. -isolierenden Maßnahmen unumstritten. Inwiefern das Wohlbefinden mit den gemessenen Beschleunigungswerten in Verbindung gebracht werden kann ist u.a. Gegenstand der Untersuchungen von Caffaro [9]. In der Studie wurde der Einfluss der hydropneumatischen Kabinenfederung eines Teleskopladlers auf die Schwingungsbeeinflussung und den Komfort untersucht. Dabei wurden das Übertragungsverhalten zwischen Fahrzeug und der fahrzeugführenden Person, das subjektive Komfortempfinden als auch die physischen Eigenschaften der Person analysiert und in Zusammenhang gebracht. Die auf die fahrzeugführende Person übertragenen Vibrationen wurden mit Beschleunigungssensoren auf dem Fahrersitz, dem Kabinenboden und am Rahmen des Teleskopladlers quantifiziert. Die Daten wurden anhand von 100 Fahrten über einen ISO smoother track [10] bei 5 und 12 km/h jeweils mit starrer und gefederter Kabine erhoben. Anhand der Beschleunigungsdaten konnte die Effektivität der Kabinenfederung für die Schwingungsisolierung der fahrzeugführenden Person bestätigt und damit die Wichtigkeit der Verwendung solcher Systeme unterstrichen werden. Zugleich konnte anhand der Ergebnisse der Befragung von 16 Probanden festgestellt werden, dass die Verwendung der Kabinenfederung keinen Einfluss auf das subjektive Komfortempfinden hatte, wobei ein höherer BMI (Body-Mass-Index) den wahrgenommenen Komfort erhöhte.

Der Einsatz hydropneumatischer Federungssysteme erfordert in vielen Fällen die Nutzung geeigneter Berechnungsmodelle, um möglichst optimale Systemeigenschaften im Rahmen einer Entwicklung hervorzuheben. Besonders für den Einsatz geregelter Federungssysteme ist es auf Grund der dynamischen Wechselwirkungen wichtig, das Verhalten der hydropneumatischen Komponenten adäquat beschreiben zu können. Im Kontext dieser Anforderung untersuchen van der Westhuizen und Els [11] die Abbildungsgüte verschiedener Gasmodelle für die Simulation hydropneumatischer Fahrwerke in Off-Road-Fahrzeugen. Gegen-

stand der Untersuchung ist ein semiaktives, zwischen vier Zuständen umschaltbares Fahrwerk, das von Els entwickelt wurde (**Bild 2**). Kernpunkte der Betrachtungen sind zum einen die Beschreibung der Gasvolumina anhand von mathematischen Formulierungen idealer und realer Gase und zum anderen die Berücksichtigung der Energieübertragung zwischen dem Gas und seiner Umgebung. Die für die numerische Simulation erforderlichen Parameter des vorliegenden Federungssystems wurden anhand von Laborversuchen ermittelt, wobei die Dämpfung soweit es ging im System reduziert wurde. In einem nächsten Schritt wurden die Ergebnisse der Modellrechnung des Federungssystems mit denen des Laborversuchs verglichen. Als ein Ergebnis aus diesem Vergleich konnte festgehalten werden, dass die "Realgas"-Formulierungen in Verbindung mit einer Berücksichtigung energetischer Einflüsse zu den besten Ergebnissen führte und dass die "Idealgas"-Formulierung in Verbindung mit der Energiebetrachtung nur geringfügig ungenauere Ergebnisse lieferte.

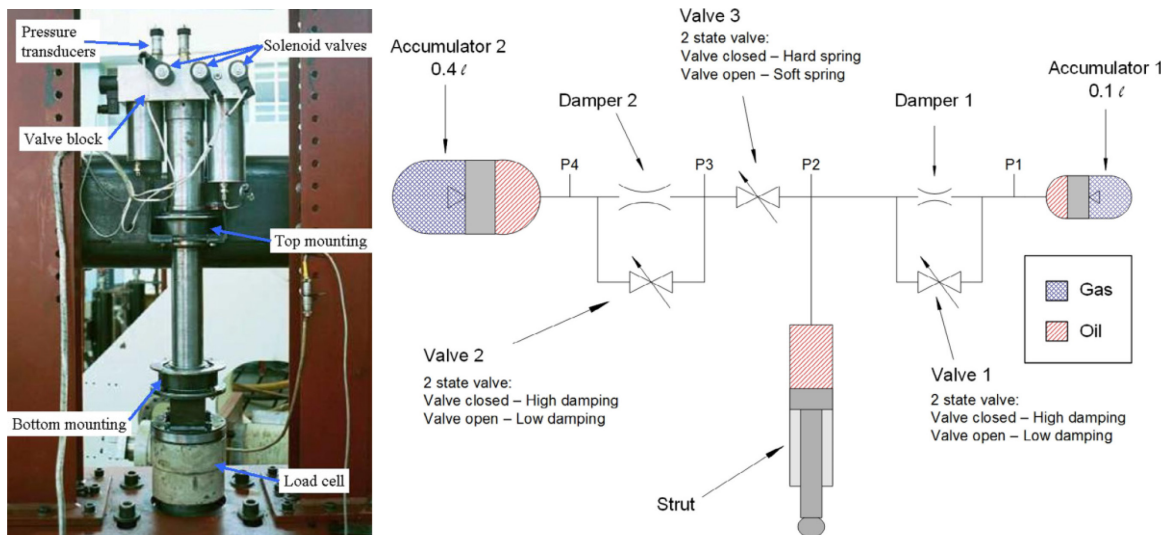


Bild 2: links: Versuchsaufbau des Hydraulikzylinders, rechts: Schaltplan des verwendeten hydro-pneumatischen Fahrwerks [11]

Figure 2: left: Experimental test setup, right: Schematic diagram of the hydro-pneumatic suspension [11]

Für die meisten, mit dem Traktor durchgeführten Arbeiten sind Fahrbahnunebenheiten maßgeblich für die Anregung von Ganzkörperschwingungen der fahrzeugführenden Person. Sowohl die aus der vertikalen Fahrzeugbewegung resultierenden Beschleunigungen in z-Richtung (nach [3]) als auch die horizontalen Beschleunigungen in y-Richtung, die sich auf Grund der Rollbewegung ergeben, sind in diesen Fällen relevant. Bei einigen Arbeitsabläufen kann aber die Kopplung von Traktor und Anbaugerät zu erhöhten Längsbeschleunigungen führen, die einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Ganzkörperschwingung haben können, wie Langer, Ebbesen und Kordestani [12] in ihrer Untersuchung an einem Traktor-Ballenpresse-Gespann zeigen konnten. Speziell die durch den Pressvorgang auf den Traktor übertragenen Impulse waren hierfür relevant. Im Fokus dieser Arbeit stand die Überprüfung der Hypothesen, dass das Zu- bzw. Abschalten eines Allradantriebs sowie dass das Heraus- oder Herunterfahren an einem Hang Einfluss auf die Längsdynamik bezüglich der Schwingungsübertragung hat. Anhand von Messungen der Sitzbeschleunigungen konnte festge-

stellt werden, dass es eine signifikante Zunahme der Ganzkörpervibrationen beim Herunterfahren eines Hügels im Vergleich zur Aufwärtsfahrt mit Allradantrieb gibt. Die Annahme, dass die Abschaltung des Allradantriebs die Ganzkörpervibrationen verringert, konnte nicht nachgewiesen werden.

Neben der Untersuchung körperlicher Belastungen der fahrzeugführenden Personen ist auch die fahrdynamische Sicherheit Gegenstand aktueller Forschung. Zhen Li et al. [13] untersuchen die dynamischen Zusammenhänge von Traktorüberschlägen, die auf Grund von Kurvenfahrten über Fahrbahnunebenheiten hervorgerufen werden, um Stabilitätsfaktoren für den Überschlag bzw. das Ausbrechen des Fahrzeugs angeben zu können. Als Grundlage für die Untersuchung dient das dreidimensionale Mehrkörpermodell eines Standardtraktors mit pendelnd gelagerter Vorderachse. Als erstes Stabilitätskriterium wird das Verhältnis von dynamischer zur statischen Radaufstandskraft angegeben wodurch ein kritischer Zustand anhand eines kleinen Verhältnisses gekennzeichnet wird. Das zweite Kriterium wird aus dem Verhältnis der vorhandenen Querkraft zur übertragbaren Seitenführungskraft der jeweiligen Räder errechnet, wobei eine querkraftfreie Fahrt durch einen Faktor von 1 gekennzeichnet wird. Die Autoren schlagen vor, die angeführten Stabilitätskriterien zu verwenden, um den Fahrer durch Informationen zum aktuellen Stabilitätsverhältnis vor Überschlägen bzw. einem Ausbrechen des Traktors zu warnen.

Im Sinne der Entwicklung und Auslegung von Traktorkabinenstrukturen stellen Sergio Baragetti et.al. [14] ihr Vorgehen bei der Erstellung des FE-Modells einer Traktorkabine (SAME Deutz-Fahr GC8) zur numerischen Analyse eines Traktorüberschlags anhand der Vorgaben des OECD Code 4 [15] vor. Ein Hauptaugenmerk der Arbeit lag auf der Erzeugung eines möglichst effektiv zu berechnenden Modells, was durch Verwendung verschiedener Vereinfachungen und von Simulationselementen erreicht wurde. Wesentlich hierbei waren die Selektion verformungsrelevanter Baugruppen, die Verwendung von Schalenelementen mit nichtlinearem Spannungs-Dehnungs-Verhalten, die Berücksichtigung der Schweißnähte und anderer Verbindungen durch Nutzung einfacher Elementkontakte bzw. Elementtypen und die starke Eingrenzung von Bereichen mit Deformationskontakten. Zur Ermittlung der mechanischen Materialeigenschaften wurden Zugversuche durchgeführt deren Ergebnisse mit denen eines FE-Modells der Zugprobe verglichen wurde. Die Ergebnisse der FE-Simulation wurden mit den Ergebnissen aus Laborversuchen an der Kabine verglichen, um die Qualität der Simulation beurteilen zu können.

Kleintraktoren für den Wein- und Obstanbau sind im Gegensatz zu Standardtraktoren in der Regel mit einem klappbaren Überrollschutzmechanismus (ROPS) ausgestattet, um die Arbeit in beengten Situationen zu ermöglichen. Viele tödliche Unfälle resultieren aus fehlerhaftem Umgang mit diesen Systemen. Ballesteros et al. [16] testen daher verschiedene automatisch ausfahrende Überrollschutzsysteme. An drei verschiedenen Mechanismen werden unterschiedliche Gasgeneratoren verwendet, um die jeweils am besten geeignete Position und Anzahl dieser zu untersuchen. Mit Hilfe von praktischen Versuchen an einem Quad sowie Simulationen wird eine Einhaltung der aktuellen Standards für Überrollschutzsysteme nachgewiesen.

Fahrndynamik

Neben der Fahrsicherheit beeinflusst der Rad-Bodenkontakt in hohem Maße die Güte der Leistungsübertragung des Traktors. Auf Grund des vergleichsweise hohen Energieeinsparpotentials durch eine Reduzierung des Radschlupfes, steht die Optimierung des Rad-Bodenkontaktes und damit auch deren adäquate Beschreibung im Fokus aktueller Forschungsarbeiten.

Taghavifar und Mardani [17] z.B. untersuchen die Einflüsse auf den Zugenergiebedarf eines angetriebenen Traktorrades anhand von Laborversuchen (**Bild 3**) und einer adaptiven netzwerk-basierten Fuzzylogik (ANFIS: adaptive neuro-fuzzy inference system). Damit verfolgen sie einen "soft computing"-Ansatz, um den mathematisch schwierig zu beschreibenden Rad-Boden-Kontakt zu handhaben und die Zugenergie berechnen zu können. Als wesentliche Einflussgrößen werden die Radgeschwindigkeit, die vertikale Radlast und der Schlupf betrachtet. Diese werden, als voneinander unabhängige Parameter, mit jeweils 3 Werten am Einzelradversuchsstand eingestellt und die benötigte Zugenergie gemessen. Anhand der Versuchsdaten lässt sich das ANFIS parametrisieren und die Zugenergie berechnen.

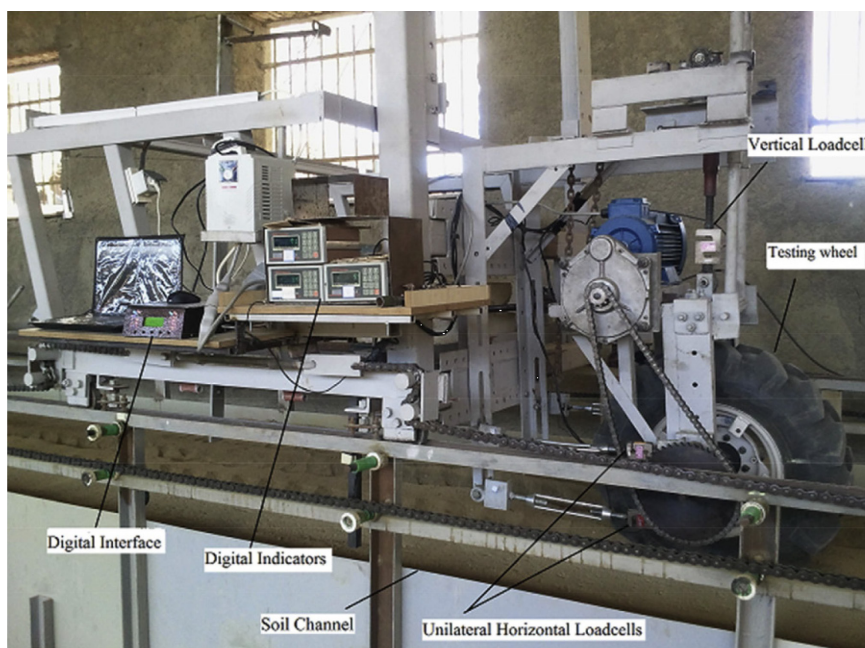


Bild 3: Einzelrad-Versuchsstand zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Reifenparameter auf die Zugenergie [17]

Figure 3: Single wheel tester to determine the influence of different tire parameters on the drawbar pull energy [17]

In einer zuvor veröffentlichten Studie [18] untersuchen die Autoren auch die benötigte Energie eines angetriebenen Einzelrades zur Überfahrt eines Hindernisses abhängig von der Radgeschwindigkeit, der vertikalen Radlast, der Hindernisgeometrie und dem Radschlupf. Die Studie leistet damit einen Beitrag zur Untersuchung des Energiebedarfs von Traktorrädern, um auch die Effekte von Hindernisüberfahrten in die energetische Betrachtung von Traktorantrieben einzubeziehen.

Einen interessanten Ansatz zur Verbesserung der Leistungsübertragung zwischen Fahrzeug und Untergrund stellt die Fa. Claas auf der 73. Tagung Land.Technik vor [19]. Hierbei wird der Ansatz verfolgt, durch Verwendung von, in einer Serienproduktion geeigneten, magnetoresistiven Sensoren das Antriebsdrehmoment, die Zug- sowie die Radaufstandskraft an der Hinterachse messbar zu machen (**Bild 4**). Anhand dieser Werte ließe sich der aktuelle Traktionswirkungsgrad bestimmen und abhängig davon eine optimale Anpassung der Arbeits- bzw. Fahrzeugparameter, wie z.B. dem Reifenluftdruck, vornehmen.

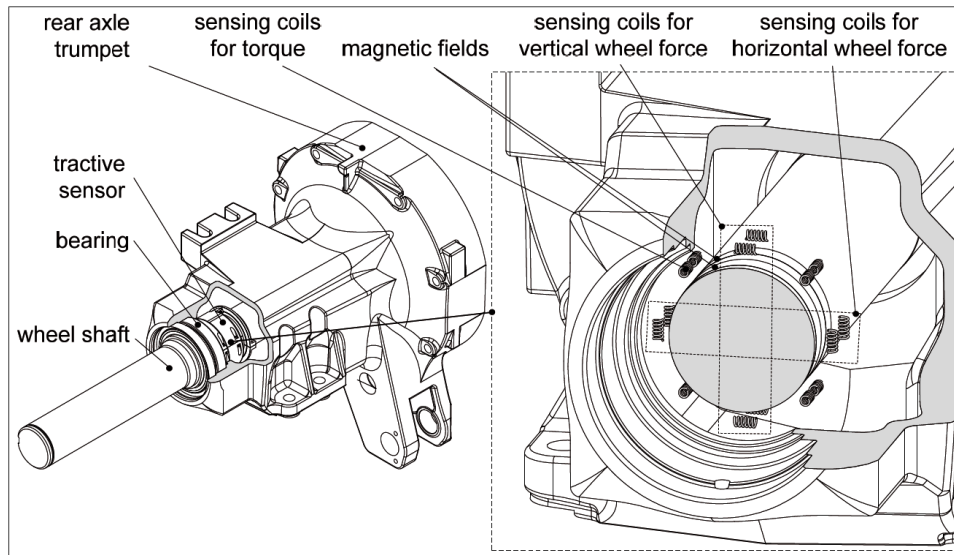


Bild 4: Anordnung von magnetoresistiven Sensoren im Antriebsstrang zur Messung von Kräften und Momenten an einer Traktorhinterachse [19]

Figure 4: Sensors and their location in the drive train to measure forces and torques at a tractor rear axle [19]

Die Fa. AGCO stellt auf der Tagung Land.Technik ein serienreifes Assistenzsystem für Traktoren vor, das dem Nutzer Hilfestellung bei der Festlegung eines geeigneten Reifenluftdrucks und der Anbringung von Hilfsgewichten zur Minimierung des Radschlupfes bei der Feldarbeit bietet [20]. Ansatz hierfür ist ein, auf Expertenwissen basierendes, Berechnungsprogramm das speziell für den jeweiligen Traktor parametrisiert ist und somit nur eine vergleichsweise geringe Anzahl an Informationen vom Nutzer als Eingabe benötigt. Nach Eingabe des Reifentyps, der Art der Arbeitsgeräatanbindung, der geschätzten Bodenfeuchte und z.B. der gewünschten Arbeitsgeschwindigkeit wird dem Nutzer ein Vorschlag für die Zusatzgewichte und die Reifenluftdrücke gemacht.

Eine Neuentwicklung im Bereich der hydropneumatischen Fahrwerke stellt die Fa. JCB auf der 73. Tagung Land.Technik vor [21]. Das für die Traktoren der Fastrac 4000-Reihe entwickelte System verfügt neben der Möglichkeit, die Federrate durch Änderung des Vorspanndrucks anzupassen über eine automatische Einstellmöglichkeit des Niveaus. Der Fahrzeugführer kann bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h die Bodenfreiheit selbst einstellen und die Federsteifigkeit der Vorder- oder Hinterachse bei Bedarf maximieren. Ein spezielles Ventil sorgt für eine druck- und zugstufenabhängige Dämpfung, die zusätzlich von der Federungsgeschwindigkeit abhängig ist (siehe **Bild 5**).

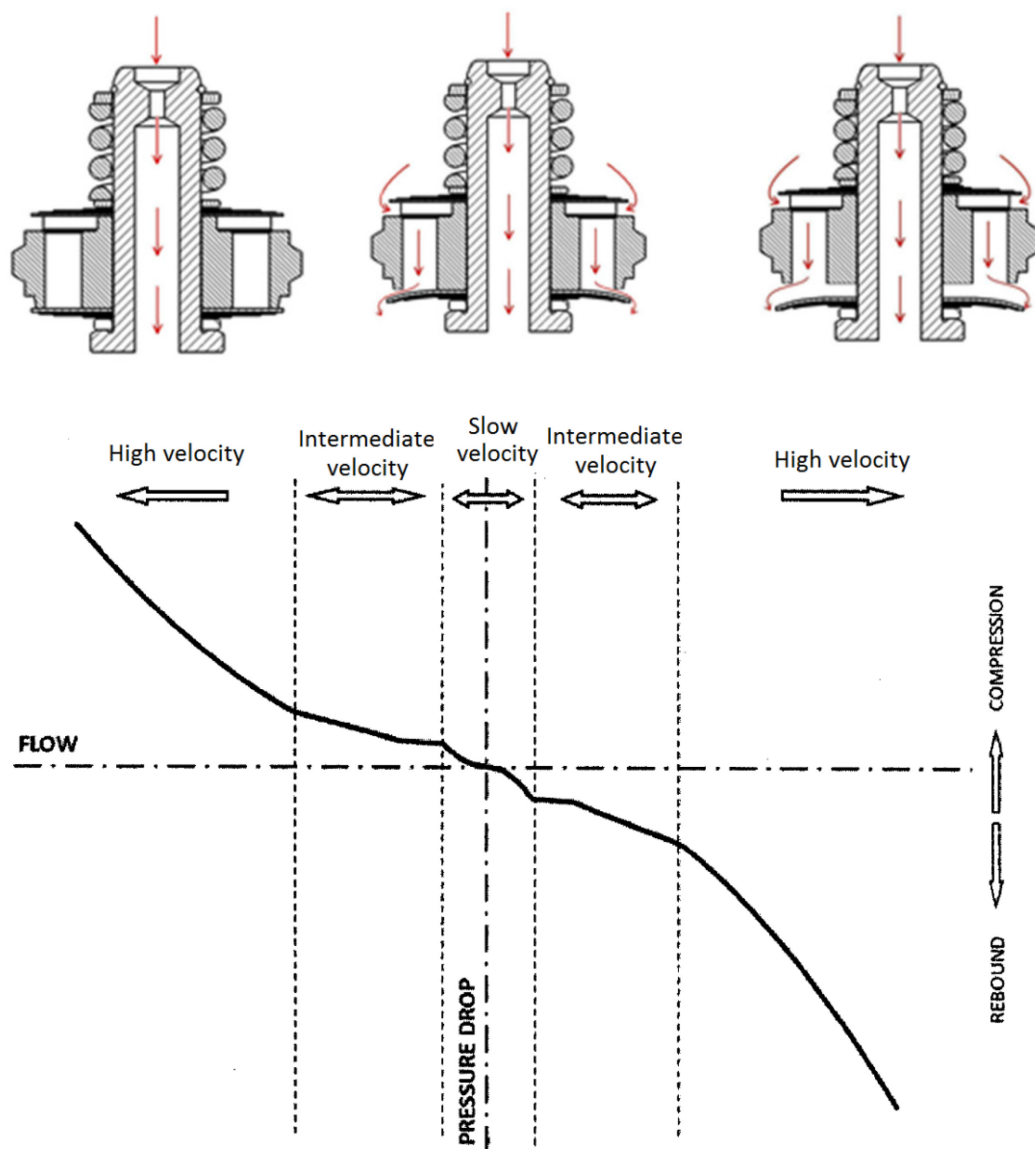


Bild 5: oben: Stellungen des entwickelten Dämpfungsventils bei verschiedenen Drücken, unten: Typische Druck-Volumenstrom-Kennlinie des entwickelten Dämpfungsventils [21]

Figure 5: top: Positions of the developed damping valve at different pressures, bottom: Typical damping characteristics of the developed valve [21]

Neben Ansätzen zur Verbesserung der Längs- und Vertikaldynamik von Traktoren wird in aktuellen Arbeiten auch versucht, die Kurvenfahrt von Arbeitsmaschinen in Hinblick auf die Fahrstabilität und die Manövrierbarkeit zu optimieren. Daher und Ivantysynova [22] untersuchen z.B. ein neuartiges Regelungskonzept für einen hydraulisch betätigten Knicklenker am Beispiel eines Radladers. Grundlage für die Simulation des geregelten Systems ist ein mathematisches Modell des Knicklenkerfahrzeuges und des elektrisch betätigten Hydrauliksystems. Die Lenkbewegung des Fahrers wird hierbei unter Berücksichtigung des Rad-Bodenkontakts und der Querdynamik in einen Sollwert des Knicklenkerwinkels überführt und dem Regelungsalgorithmus übergeben. Anhand der Simulation konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe des geregelten Systems der gewünschten, engen Kurvenbahn gut zu folgen war. Die

Simulationsergebnisse konnten erfolgreich anhand von Versuchsfahrten mit einem Radlader-Prototypen auf einer Fahrbahn mit geringem Reibbeiwert validiert werden. Das vorgestellte Konzept ermöglicht damit eine Verbesserung der Fahrdynamik sowohl im Hinblick auf einen effektiven Lenkprozess als auch der Stabilisierung der Querdynamik bei höheren Geschwindigkeiten auf glatten Untergründen.

Für die automatischen Lenksysteme, welche vorgegebene Spuren einhalten, stellt sich die Frage nach dem optimalen Übergang zwischen zwei parallelen Spuren am Vorgewende. Backman et al. [23] stellen hierfür ein neues Verfahren zur Berechnung von Trajektorien für verschiedene Wendemanöver vor. Dabei berücksichtigen sie in einem Fahrzeugmodell das Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs sowie die maximale Lenkwinkelgeschwindigkeit. Der entwickelte Algorithmus setzt mehrere Kurvenabschnitte mit konstantem Krümmungsradius zusammen um die gewünschte Bahn zu bestimmen. Der Übergang zwischen zwei Abschnitten, in denen die Lenkwinkeländerung stattfindet, wird unter Berücksichtigung des Fahrzeugmodells berechnet. Die durchschnittliche Berechnungsdauer ist dabei ausreichend schnell, um das Verfahren für eine Online-Trajektorienbestimmung einsetzen zu können.

Autonome Landmaschinen erfordern auf Grund ihrer technischen Eigenheiten und dem möglichen Einsatz in neuen Arbeitsbereichen eine grundlegendere Betrachtung ihrer Antriebskonzepte. In diesem Kontext untersuchen Vidoni et al. [24] vier verschiedene Fahrwerkkonfigurationen für Robotersysteme im Wein- und Obstanbau hinsichtlich ihrer Stabilität beim Befahren von Steigungen in unterschiedlichen Winkeln zum Hang. Verglichen werden eine Anordnung mit drei Rädern, ein konventionelles vierrädriges System mit einer geringeren Frontspurweite, ein Vierradknicklenker sowie ein Kettenfahrwerk. Betrachtet wird dabei nur die langsame Fahrt, so dass dynamische Kräfte vernachlässigt werden können. Obwohl das Kettenfahrzeug die größte Stabilität aufweist, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass ein Knicklenkerfahrzeug auf Grund der Vorteile bei Lenkbarkeit und Agilität sowie des, im Vergleich zum Kettenantrieb, bodenschonenderen Fahrwerks am besten für unebenes Gelände mit Steigungen geeignet ist.

Fahrerplatz

Die Fa. Grammer EiA Electronics gibt einen Überblick über die möglichen Funktionalitäten, die durch Force-Feedback-Joysticks realisiert werden können [25]. Bisherige Joystick-Konzepte sind entweder positions- oder kraftbasiert. Während beim ersten Konzept die Position des Joysticks die Größe der Funktion (z.B. Fahrgeschwindigkeit) vorgibt ist beim zweiten Konzept die Kraft (gegen eine rückstellende Feder) der größenbestimmende Faktor (Druck nach vorne bestimmt die Beschleunigung des Fahrzeugs). Mit Hilfe eines neu entwickelten Joysticks mit Kraftrückwirkung (Force-Feedback) können zahlreiche weitere Funktionen realisiert werden, die dem Benutzer eine Rückkopplung der jeweiligen Funktion geben. So kann beispielsweise die Neutralposition verschoben werden oder eine Stellmomenterhöhung am Bedienelement kann das Ende des Stellwegs anzeigen, um etwa einen Schnellfahrmodus zu aktivieren. Auch das Fühlbarmachen von hydraulisch oder pneumatisch angetriebenen Komponenten (etwa bei hoher Last) wird ermöglicht.

Ebenfalls erwähnenswert ist die neue Panoramakabine für die Claas ARION 400 Serie, deren Entwicklung von Rondeau [25] vorgestellt wurde. Diese "Panoramakabine" genannte Konstruktion kommt ohne die vorderen Querstrebe aus, welche besonders bei Frontladerarbeiten das Sichtfeld des Fahrers einschränkt (vgl. **Bild 6**). Im Dachbereich wird ein aus Polycarbonat bestehendes Fenster eingesetzt, das mit der Frontscheibe durch einen dünnen Streifen eines lichtdurchlässigen Materials verbunden wird. Durch die Materialkombination können die Auflagen hinsichtlich des Schutzes gegen herabfallende Gegenstände (FOPS) und gegen Verletzungen durch Überschlag (ROPS) eingehalten werden.

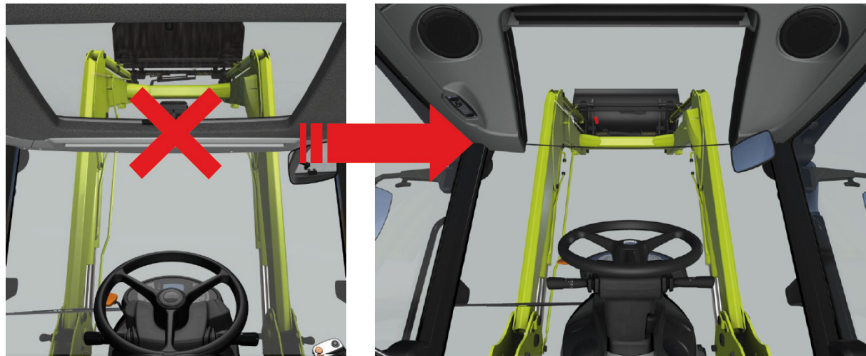


Bild 6: Ursprüngliches Scheibendesign im Vergleich zum neuen Panoramakabinendesign der Claas ARION 400 Traktoren [25]

Figure 6: Original windshield design compared to the new panoramic design of the Claas ARION 400 tractors [25]

Zusammenfassung

Die Ansätze zur Reduzierung von Gesundheitsschäden - hervorgerufen durch Ganzkörpervibrationen - bieten trotz der technischen Fortschritte im Bereich der Traktor-Federungssysteme, weiterhin Raum für Verbesserungen. Besonders die Bewertung der Belastung der fahrzeugführenden Personen durch Schwingungsanregungen gestaltet sich auf Grund der spezifischen Bewegungsabläufe bei der Bedienung des Fahrzeugs sowie der physischen Eigenschaften der Personen als komplex. In diesem Kontext gab es im Jahr 2015 mehrere Veröffentlichungen, die sich mit der Erhebung und Auswertung von fahrerbelastenden Schwingungsanregungen in Nutzfahrzeugen beschäftigten. Die Arbeiten bieten, auch wenn die untersuchten Fahrzeuge z.T. nicht dem Bereich der Landwirtschaft entstammen, wertvolle Ansätze, um den Komfort und die Sicherheit von Traktoren weiter zu steigern. Arbeiten zur Verbesserung der Fahrdynamik wurde in mehreren Bereichen durchgeführt. Zum einen wurde die Optimierung der Leistungsübertragung zwischen Rad und Untergrund durch Verringerung des Radschlupfes mit der Entwicklung z.T. serienreife Produkte vorangetrieben. Zum anderen wurde weiter an Grundlagen gearbeitet, um den Rad-Bodenkontakt für energetische Betrachtungen zugänglicher zu machen. Arbeiten zur Verbesserung der Querdynamik sowie der Fahrzeugstabilität befassten sich mit der Optimierung von Kurvenfahrten, u.a. von Fahrzeugen mit Knicklenkern, und der Bewertung von Fahrzuständen in Hinblick auf die Stabilität bei Kurvenfahrten.

Literatur

- [1] International Organization for Standardization: Agricultural wheeled tractors and field machinery - Measurement of whole-body vibration of the operator (2002) ISO 5008. 65. Auflage.
- [2] Rantaharju, T.; Mansfield, N. J.; Ala-Hiirio, J. M. und Gunston, T. P.: Predicting the health risks related to whole-body vibration and shock: a comparison of alternative assessment methods for high-acceleration events in vehicles, *Ergonomics* 58 (2015) H. 7. S. 1071–1087.
- [3] International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements (1997) ISO 2631-1.
- [4] British Standards: Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock BS 6841:1987.
- [5] International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration 13.160; 65.060.01 (2004) ISO 2631-5.
- [6] Gunston, T.: Revision of ISO 2631-5 for Use with Marine Craft. Buxton 2011.
- [7] Deutsches Institut für Normung: Mechanische Schwingungen und Stöße - Verfahren zur Bewertung stoßhaltiger Ganzkörper-Vibrationen 13.160 (2012) DIN SPEC 45697.
- [8] Raffler, N.; Ellegast, R.; Kraus, T. und Ochsmann, E.: Factors affecting the perception of whole-body vibration of occupational drivers: an analysis of posture and manual materials handling and musculoskeletal disorders, *Ergonomics* (2015). S. 1–13.
- [9] Caffaro, F.; Cremasco, M. M.; Preti, C. und Cavallo, E.: Ergonomic analysis of the effects of a telehandler's active suspended cab on whole body vibration level and operator comfort, *International Journal of Industrial Ergonomics* 53 (2016). S. 19–26.
- [10] International Organization for Standardization: Agricultural wheeled tractors and field machinery - Measurement of whole-body vibration of the operator 13.160; 65.060.01 (2002) ISO 5008.
- [11] van der Westhuizen, S. Francois und Schalk Els, P.: Comparison of different gas models to calculate the spring force of a hydropneumatic suspension, *Journal of Terramechanics* 57 (2015). S. 41–59.
- [12] Langer, T. H.; Ebbesen, M. K. und Kordestani, A.: Experimental analysis of occupational whole-body vibration exposure of agricultural tractor with large square baler, *International Journal of Industrial Ergonomics* 47 (2015). S. 79–83.
- [13] Li, Z.; Mitsuoka, M.; Inoue, E.; Okayasu, T. und Hirai, Y.: Development of stability indicators for dynamic Phase I overturn of conventional farm tractors with front axle pivot, *Biosystems Engineering* 134 (2015). S. 55–67.
- [14] Baragetti, S.; Robolotti, F. und Rota, F.: Development of a Model for the Simulation of ROPS Tests on Agricultural Tractors Cabin: Numerical Models and Experimental Verification, *Int. Journal of Engineering Research* (2015) Vol. 5, Issue 9. S. 76–86.

- [15] Organisation for Economic Co-operation and Development: Testing of the strength of protective structures for agricultural and forestry tractors (2014) CODE 4.
- [16] Ballesteros, T.; Arana, J. I.; Pérez de Ezcurdia, A. und Alfaro, J. R.: Development and validation of automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology, *Biosystems Engineering* 130 (2015). S. 92–105.
- [17] Taghavifar, H. und Mardani, A.: Evaluating the effect of tire parameters on required drawbar pull energy model using adaptive neuro-fuzzy inference system, *Energy* 85 (2015). S. 586–593.
- [18] Taghavifar, H.; Mardani, A. und Hosseinloo, A. H.: Experimental analysis of the dissipated energy through tire-obstacle collision dynamics, *Energy* 91 (2015). S. 573–578.
- [19] Wieckhorst, J. und Fedde, T.: A Tractive Sensor: Integrated Measurement of Tire Soil Parameters for Tractors. VDI-MEG Tagung Landtechnik 06.-07.11.2015 Hannover. In: VDI-Berichte 2251 (2015). S. 219–225. Düsseldorf: VDI Verlag 2015.
- [20] Pichlmaier, B.: A Fully Integrated Traction Assistance System. VDI-MEG Tagung Landtechnik 06.-07.11.2015 Hannover. In: VDI-Berichte 2251 (2015). S. 211–217. Düsseldorf: VDI Verlag 2015.
- [21] Swinnerton, P. und Helmick, L.: A Load Sensing Adaptive Hydro pneumatic Suspension for a Full Suspension Tractor. VDI-MEG Tagung Landtechnik 06.-07.11.2015 Hannover. In: VDI-Berichte 2251 (2015). Düsseldorf: VDI Verlag 2015.
- [22] Daher, N. und Ivantysynova, M.: Yaw stability control of articulated frame off-highway vehicles via displacement controlled steer-by-wire, *Control Engineering Practice* 45 (2015). S. 46–53.
- [23] Backman, J.; Piirainen, P. und Oksanen, T.: Smooth turning path generation for agricultural vehicles in headlands, *Biosystems Engineering* 139 (2015). S. 76–86.
- [24] Vidoni, R.; Bietresato, M.; Gasparetto, A. und Mazzetto, F.: Evaluation and stability comparison of different vehicle configurations for robotic agricultural operations on side-slopes, *Biosystems Engineering* 129 (2015). S. 197–211.
- [25] Rondeau, D.: K08 Panoramic Cabin: Development of a panoramic cabin concept for 4-cylinder tractors range for mixed applications (field & farmyard). VDI-MEG Tagung Landtechnik 06.-07.11.2015 Hannover. In: VDI-Berichte 2251 (2015). S. 237–242. Düsseldorf: VDI Verlag 2015.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 14.03.2016

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Sieting, Maximilian; Krüger, Jan; Meyer, Henning Jürgen: Fahrdynamik - Fahrsicherheit - Fahrerplatz.
In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen
und Nutzfahrzeuge, 2016. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055114>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/238.html>